

N. Stütz<sup>1,3</sup> · R. Meier<sup>1</sup> · H. Krimmer<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Klinik für Handchirurgie, Rhön-Klinikum AG, Bad Neustadt/Saale

<sup>2</sup> Krankenhaus St. Elisabeth, Ravensburg

<sup>3</sup> Klinik für Plastische Chirurgie, Klinikum Nürnberg-Süd, Nürnberg

# Ersatz von Fingermittelgelenken mit Pyrocarbonprothesen

## Erfahrungswerte nach 1 Jahr

**D**ie durch degenerative, posttraumatische, infektierte oder rheumatische Erkrankungen hervorgerufene Arthrose des Fingermittelgelenks führt zu starkem Schmerz und deutlichem Funktionsverlust. Gerade am Mittelgelenk der Finger wird trotz des nicht unerheblichen Funktionsverlusts die Arthrodeese in aller Regel bevorzugt, da sie dauerhaft und zuverlässig Stabilität und Schmerzfreiheit ermöglicht [10]. Beim proximalen Interphalangealgelenk (PIP) handelt es sich um ein Scharniergelenk mit einem Bewegungsausmaß von 0–100°. Das volle Beugen und Strecken eines Fingers entspricht einer Spiralbewegung, etwa 30% des gesamten Bewegungsausmaßes kann dem PIP-Gelenk zugesprochen werden [13]. Mittelgelenke sind zwar bezüglich des Bewegungsausmaßes den Grundgelenken der Finger nicht gleichzusetzen, der Funktionsverlust zeigt sich jedoch sehr deutlich beim Versuch des Umfassens oder Greifens von Gegenständen. Dabei nimmt die Bedeutung der Einschränkung der Beweglichkeit der Finger von radial nach ulnar zu. Die Funktionsverbesserung durch einen Gelenkersatz, welcher Stabilität, Schmerzfreiheit und Beweglichkeit ermöglicht, ist daher erstrebenswert.

### Patienten und Methoden

An unserer Klinik sind bisher 16 Patienten (6 weiblich, 10 männlich) in einem Zeitraum von 16 Monaten mit 17 PIP-Gelenk-

prothesen operativ (Press-fit-Implantation) versorgt worden; 3 Patienten wurden wegen einer Nachbeobachtungszeit von <3 Monaten in der Studie nicht berücksichtigt. In die Studie gingen somit 13 Patienten (13 Prothesen) mit einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 360 (270–450) Tagen ein. Das Durchschnittsalter betrug 50 (30–67) Jahre.

Die Patienten wurden unmittelbar präoperativ, 1, 3, 6 und 12 Monate postoperativ untersucht. Die Bewegungsgrade der PIP-Gelenke, die Prothesenstabilität durch klinische und radiologische Kontrolle, sowie die Unterschiede des prä- und postoperativen Schmerzempfindens mittels visueller und verbaler Analogskala wurden ermittelt.

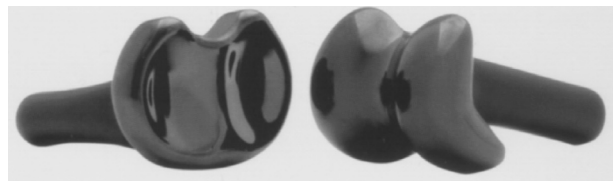
Von den 13 in die Studie eingegangenen Patienten waren in 6 Fällen die Gelenke durch ein Trauma zerstört, in weiteren 6 Fällen durch Bouchard-Arthrose und in 1 Fall durch chronische Polyarthrit (CP). Die Indikation zum alloplastischen PIP-Gelenkersatz wurden bei zerstörten Gelenkflächen mit schmerzhaften Bewegungseinschränkungen und/oder Kontraktur gestellt.

Es wurden folgende Fingermittelgelenke der 13 Studienpatienten operativ versorgt: 2-mal Zeigefinger links, 2-mal Mittelfinger rechts, 4-mal Mittelfinger links, 3-mal Ringfinger rechts und 2-mal Ringfinger links. Voraussetzung hierfür waren intakte Kollateralligamente, eine ausreichende knöchernen Abstützung und ein intakter bzw. rekonstruierbarer Strecksehnenapparat. Zeitgleich wurden bei 3 Patienten zusätzlich 5 Arthrodesen des Endgelenks durch Mini-Herbert-Schraube durchgeführt.

### Implantationstechnik

Die verwendete Prothese besteht aus Pyrocarbon (Abb. 1), einer abriebfesten Graphitlegierung, die aus der Hydrolyse von Hydrocarbongas entsteht [3]. Die Vorteile der Pyrocarbonprothesen liegen in der Biokompatibilität und der hohen Widerstands- bzw. Belastungsfähigkeit des Materials [3]. Die Fingermittelgelenkprothese besteht aus einem separaten proximalen und distalen Teil und ist verfügbar in 5 Größen, sodass eine Anpassung an den individuellen Durchmesser der Phalangen erfolgen kann.

Abb. 1 ► Fingermittelgelenkprothese aus Pyrocarbon (Ascension Orthopedics, Austin/TX, USA)



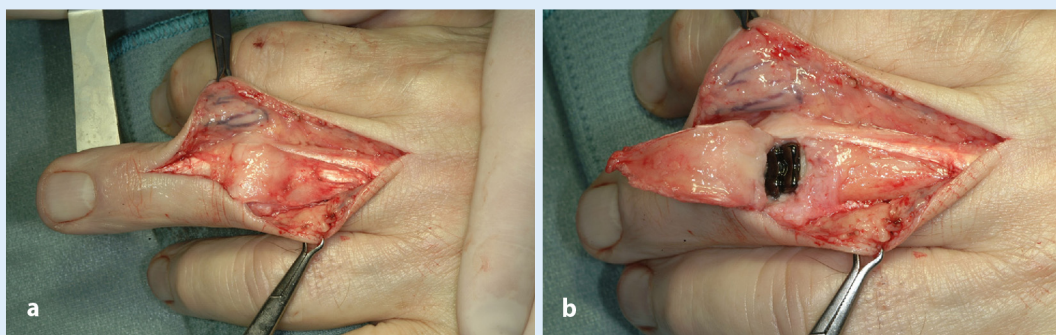


Abb. 2 ◀ Dorsaler Zugang nach Chamay und Einpassen der proximalen Prothesenkomponente



Abb. 3 ◀ a Präoperatives Röntgenbild: PIP IV links, posttraumatische Arthrose am PIP-Gelenk. b Postoperatives Röntgenbild: Das PIP-Gelenk wurde mit einer Pyrocarbonprothese versorgt

Der Zugang erfolgte nach Chamay (▣ Abb. 2a) mit bogenförmiger Umschneidung des Mittelgelenks und der Darstellung der Streckaponeurose [2]. Es folgt die Bildung eines dreieckförmigen, distal am Ansatz des Tractus intermedius gestielten Strecksehnenanteils mit Erhalt der Seitenzüge.

Der Ansatz des Tractus intermedius sollte erhalten bleiben. Danach wird das Gelenk eröffnet. Die Seitenbänder werden geschont. Nach dem Festlegen der Resektionsgrenzen wird die Gelenkfläche mittels oszillierender Säge reseziert. Die palmare Platte und die Kollateralländer müssen geschont werden. Es folgt das Aufweiten des Markraums mittels der entsprechenden Prothesenkomponente. Erforderlichenfalls muss proximal nach der Probe-positionierung mit der entsprechenden Sägeschablone nachgekürzt werden.

Es folgt die Resektion der distalen Gelenkfläche, das Aufbohren des Markraums und das Einpassen der Probeprotthese. Die endgültige Prothese wird zu-

nächst distal, dann proximal mit speziellem Einschlaginstrumentarium eingeschlagen („press fit“, ▣ Abb. 2b). Mittels Bildwandler sollte der korrekte Sitz der beiden Prothesenteile kontrolliert werden. Abschließend erfolgt die Naht der Streckaponeurose mit fortlaufend monofilamentem Faden vor der Hautnaht.

### Postoperative Weiterbehandlung

Das Ziel der Nachbehandlung ist der Schutz der Prothese vor Lockerung und das Vermeiden von Vernarbungen bzw. Rupturen der Strecksehne, um so einen optimalen Bewegungsumfang zu erreichen.

Wir bevorzugen eine Nachbehandlung in Anlehnung an das „Short-arc-motion“- (SAM-)Konzept [5]. Direkt nach der Operation erhält der Patient eine palmare Gips-schiene, welche das Handgelenk in Funktionsstellung von 10–20° Streckung, das Grundgelenk in ca. 20–30° Beugung und das Mittelgelenk in Streckstellung (2 Finger werden gekoppelt eingegipst) hält.

Die umliegenden Gelenke sollten sofort bewegt werden.

Vom 2. bis 7. Tag wird eine Fingerlage-rungsschiene getragen, die das Grundgelenk frei bewegen lässt, das PIP- und DIP-Gelenk sollte in 0°-Stellung stehen. Wir empfehlen das permanente Tragen der Schiene.

Zu Beginn der 2. postoperativen Woche werden 2 Übungsschienen angepasst. Die erste dorsale sollte das PIP-Gelenk in 0° Extension blocken, die Flexion des PIP-Gelenks sollte bis 30°, des DIP-Gelenks bis 25° möglich sein. Die 2. (palmare) fixiert das PIP-Gelenk in 0°-Stellung, das DIP-Gelenk ist frei beweglich. Die Schiene muss einwandfreie achsengerechte Längsausrichtung sicherstellen und jegliche Deviation, Rotation oder Hyperextension vermeiden.

Während der Übungen sollte das Handgelenk in 30° Flexion und das Grundgelenk in 0° gehalten werden. Der Patient sollte 10- bis 15-mal/h selbständig aktiv bis 30° in der ersten Übungsschiene beu-

Unfallchirurg 2005 · 108:365–369  
DOI 10.1007/s00113-004-0891-y  
© Springer Medizin Verlag 2004

N. Stütz · R. Meier · H. Krimmer

### Ersatz von Fingermittefgelenken mit Pyrocarbonprothesen. Erfahrungswerte nach 1 Jahr

#### Zusammenfassung

Die bisherige prothetische Versorgung von Fingergelenken (insbesondere der Mittelgelenke) zeigte nach eigenen Erfahrungen und Durchsicht der entsprechenden Literatur nur selten zufriedenstellende Ergebnisse. Die neu entwickelten Pyrocarbonprothesen (Ascension Orthopedics, Austin/TX, USA) zur Versorgung von Fingermittefgelenken sollten deshalb klinisch auf Bewegungsausmaß, Funktionalität und Schmerzempfinden retrospektiv analysiert werden.

An unserer Klinik wurden bisher 16 Patienten mit 17 Mittelgelenkprothesen aus Pyrocarbon operativ (Press-fit-Implantation) versorgt. In die Studie gingen 13 Patienten (13 Prothesen) ein; 3 Patienten wurden wegen einer Nachbeobachtungszeit von <3 Monaten in der Studie nicht berücksichtigt.

Vorraussetzung für die Prothesenimplantation waren intakte Kollateralbänder, eine ausreichende knöcherne Abstützung und ein intakter oder zumindest rekonstruierbarer Sehnenapparat. Der Bewegungsumfang der Fingermittefgelenke, die Prothesenstabilität anhand klinischer und radiologischer Parameter, sowie die Unterschiede zwischen prä- und postoperativen Schmerzempfinden mittels visueller und verbaler Analogskala (AS) wurden mit einer Nachbeobachtungszeit von durchschnittlich 360 (270–450) Tagen bestimmt.

Der Bewegungsumfang der Fingermittefgelenke verbesserte sich von 0–28–51 präoperativ auf 0–22–77 postoperativ (Mittelwerte). Auf der visuellen AS (0 kein Schmerz, 10 stärkster Schmerz) ließ sich eine Schmerzreduktion von 80% in

Ruhe und bei Belastung feststellen. Die verbale AS zeigte eine Verbesserung von 62%.

Der Ersatz von Fingermittefgelenken mit Pyrocarbonprothesen kann eine deutliche Schmerzreduktion, bei funktioneller Überlegenheit verglichen mit der Arthrodesese erzielen. Die Qualität des Ergebnisses hängt von einer konsequenten Nachbehandlung ab, wobei ein exaktes Protokoll mit individueller Anpassung entscheidend ist.

#### Schlüsselwörter

Fingermittefgelenk · Arthrose · Fingermittefgelenkprothese

### Pyrocarbon prosthesis for proximal interphalangeal joint replacement. Experience after one year

#### Abstract

The long-term results of finger joint replacement, particularly the proximal interphalangeal (PIP) joint, have mostly been disappointing according to a review of the international literature and our own experiences. The recently developed pyrolytic carbon implants (Ascension Orthopedics, Austin, Texas) for replacing the PIP joint were evaluated retrospectively regarding range of motion, functionality, and relief of pain.

In our hospital 17 PIP joints were replaced with pyrolytic carbon implants in 16 patients by an offset stem technique inserted without cement. This study included 13

patients; we excluded three patients because of follow-up <3 months.

Prerequisites were adequate collateral ligaments, bone stability, and sufficient or at least reconstructable extensor tendons.

The purpose of this study was to evaluate the 1-year outcome (minimum 270, maximum 360 days) regarding range of motion, implant stability based on radiological and clinical parameters, and relief of pain using a pre- and postoperative visual and verbal analogue scale.

There was an improved range of motion of the PIP joint from 0–28–51 preoperatively to 0–22–77 postoperatively

(average value). On the visual analogue scale (0 no pain, 10 incapacitating pain) we achieved pain relief at rest and in motion of 80%. On the verbal analogue scale there was an improvement of 62%.

The results of this study demonstrate that pyrolytic carbon implants reduce pain and are functionally superior to arthrodesis. A precise and individual postoperative protocol is necessary for beneficial results.

#### Keywords

Proximal interphalangeal joint · Arthrosis · Proximal interphalangeal joint prosthesis

Tabelle 1

## Bewegungsumfang prä- und postoperativ

Patient Nr.	Bewegungsumfang präoperativ	Bewegungsumfang postoperativ
1	0–35–56	0–26–36
2	0–22–35	0–20–90
3	0–15–40	0–10–81
4	0–15–50	Versteifung
5	0–40–60	0–30–60
6	0–27–70	0–25–83
7	0–50–70	0–10–89
8	0–20–60	0–20–85
9	0–35–55	0–30–85
10	0–20–50	0–23–80
11	0–30–40	0–20–83
12	0–20–45	0–28–75
13	0–15–32	Versteifung
Mittelwerte	0–28–51	0–22–77

gen und bis 0° strecken. Die 2. Schiene sollte zur aktiven Beugung und Streckung des DIP-Gelenks bei gestrecktem PIP-Gelenk verwendet werden.

Bei frei durchführbarer Extension wird die Flexion der ersten Übungsschiene zu Beginn der 3. postoperativen Woche auf 45°, zu Beginn der 4. Woche auf 60° erhöht. Liegt nach 14 Tagen ein aktives Extensionsdefizit oder eine Beugekontraktur vor, muss eine dynamische Extensionschiene angepasst werden.

Der dosierte Belastungsaufbau sollte ab der 6. Wochen ohne Schiene vorgenommen werden. Bei komplikationslosem Verlauf ist der Patient nach 8 Wochen wieder arbeitsfähig.

## Ergebnisse

Die Beweglichkeit der PIP-Gelenke verbesserte sich durchschnittlich von präoperativ von 0–28–51° auf postoperativ 0–22–77° (Mittelwerte). Es musste jedoch in 2 Fällen eine Versteifung des Mittelgelenks vorgenommen und zur Berechnung der Mittelwerte ausgeschlossen werden (■ Tabelle 1).

Der Bewegungsumfang („range of motion“, ROM) errechnet sich aus der Differenz der gemessenen Bewegungsgrade in maximaler Streckung und Beugung. Der

Zugewinn an Bewegungsumfang lag im Mittel bei 32° (von 23° präoperativ auf 55° postoperativ).

Die Schmerzsymptomatik verbesserte sich deutlich. Auf der visuellen AS ließ sich eine Schmerzreduktion von präoperativ  $8,5 \pm 1,54$  auf  $1,6 \pm 0,91$  in Ruhe und von  $8,6 \pm 1,65$  auf  $1,7 \pm 0,85$  bei Belastung, Mittelwert (MW)  $\pm$  Standardabweichung (SD) erzielen.

Die verbale AS zeigte eine Verbesserung von  $3,5 \pm 0,5$  auf  $1,3 \pm 0,6$  (MW  $\pm$  SD). Der Punktwert 4 stellte den stärksten Schmerz dar, 0 bedeutet keine Schmerzen.

Bei 4 Patienten musste eine Revision, verbunden mit einem 2. mehrtägigen stationären Aufenthalt vorgenommen werden (in der Folge kurz beschrieben). Ein Patient musste revidiert werden, weil die palmare Platte verletzt worden war. In der nachfolgenden Operation konnte aus den vorhandenen Narbenresten ein palmarer Zügel geformt und somit die palmare Platte rekonstruiert werden. Das Gelenk war in der Folge gegenüber der Streckung stabil und die Prothese in korrekter Stellung. Als Endresultat erreichte der Patient einen Bewegungsumfang von 0–30–60° (Patient Nr. 5).

Bei einem Patienten trat ein Infekt des operierten Fingers 2 Monate postoperativ auf, dieser konnte stationär, unter systemischer Antibiose erfolgreich behandelt werden. Der Patient äußerte sich nach Abschluss der Behandlung zufrieden, da eine deutliche Schmerzreduktion zu verzeichnen war, bei der letzten ambulanten Vorstellung konnte jedoch ein Zugewinn des Bewegungsumfangs um nur 10° festgestellt werden (Patient Nr. 1). In einem weiteren Fall musste 5 Monate nach Implantation der Prothese, diese wieder entnommen, und eine Versteifung des Gelenks vorgenommen werden. Grund hierfür waren persistierender Schmerz, ein deutlich geschwollenes Mittelgelenk und ein Bewegungsumfang von  $<10^\circ$  (Patient Nr. 4).

Intraoperativ ergaben sich Probleme mit dem vom Hersteller zur Verfügung gestellten Einschlaginstrumentarium. Hauptschwierigkeit lag in den nicht exakt kompatiblen Größe der Probeprothese zur Originalprothese. In einem Fall brach der proximale Teil der Prothese 6 Wochen postoperativ nach dorsal aus. Die operative Revisi-

on des Gelenks erbrachte eine massive Osteoporose, es wurde eine Versteifung des Gelenks vorgenommen (Patient 13).

Die angefertigten Röntgenbilder zeigten keine Lysezonen (■ Abb. 3), Implantatfrakturen wurden nicht festgestellt. Charakteristisch ist der radiologisch sichtbare Randsaum, der durch das nicht röntgen-dichte Pyrocarbon entsteht.

## Diskussion

Der dorsale Zugang wurde bisher in mehreren Publikationen favorisiert [9, 16]. Chamay [2] beschrieb 1988 die in dieser Studie verwendete, streckseitige Eröffnung der Fingermittegelenke für den alloplastischen Mittelgelenkersatz. Linscheid [12] beschrieb, dass einer der Hauptschwierigkeiten der postoperativen Stabilität nach Prothesen Implantation in der Insuffizienz des ehemals stabilisierenden tendinösen Apparats liege. Der von uns gewählte Zugang ermöglicht eine optimale Übersicht und schwächt nur in geringem Maße den Strecksehnenapparat. Dieser Zugang erfüllt ebenfalls die Forderung die palmare Platte und die Kollateralländer zu erhalten [12].

Die Lockerung einer Prothese hängt nach Durchsicht der internationalen Literatur am ehesten vom Abrieb des verwendeten Materials ab. Die besten Langzeitergebnisse korrelieren also mit dem geringsten Materialabrieb [1, 6, 10, 11].

In der hier vorgestellten Studie konnte während der einjährigen Beobachtungsdauer kein Anzeichen eines Materialabriebs festgestellt werden. Dies wird jedoch insbesondere bei der Verwendung von gekoppelten Prothesen als Komplikation beschrieben. Bei Verwendung zementierter Prothesen können Rückzugschwierigkeiten größten Ausmaßes auftreten [10], die durch die hier angewendete „Press-fit-Implantationstechnik“ vermieden werden können.

Unter Berücksichtigung der speziellen und komplexen Anatomie des proximalen PIP, scheinen unsere Ergebnisse bezüglich Schmerzreduktion positiv zu sein. Wir konnten durch unsere Studie über einen Beobachtungszeitraum von 1 Jahr eine deutliche Schmerzreduktion, ähnlich wie bei einer Arthrodese und eine bleibende Bewegungsfähigkeit (■ Abb. 4) erzielen.

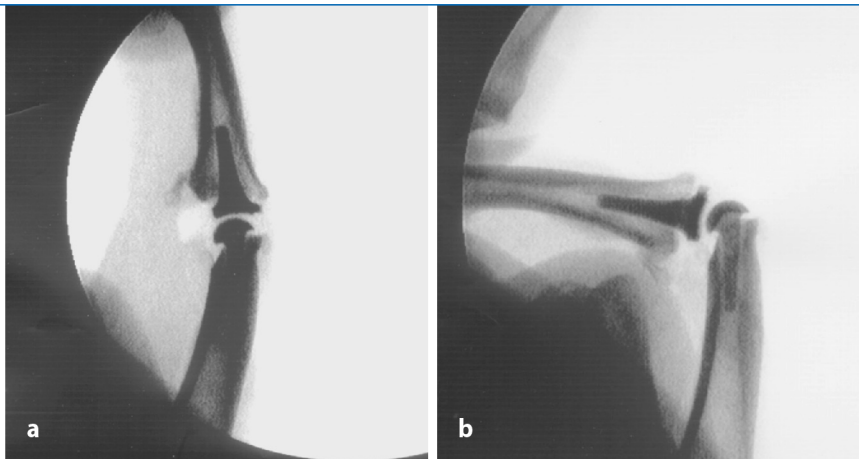


Abb. 4 ▲ a Bildwandlernaufnahme PIP IV links in maximaler Streckung.  
b Bildwandlernaufnahme PIP IV links in maximaler Beugung

Pelligrini u. Burton [14] favorisierten 1990 in posttraumatischen Fällen die Arthrodese. Eaton u. Malerich [4] beschrieben 1980 eine Arthroplastik der palmaren Platte mit einem durchschnittlichen Bewegungsumfang von 78° nach 3 Jahren. Tsai et al. [17] zeigten 2 Jahre später eine Verbesserung des Bewegungsumfanges um 30° nach vaskularisierter Gelenktransposition.

Die enttäuschenden Ergebnisse anderer prothetischer Versorgungen, beispielsweise von Lang et al. [10], konnten in unserer Studie bisher in diesem Umfang nicht festgestellt werden. Die notwendigen Revisionen in 4 von 13 Fällen sollte jedoch unbedingt beachtet werden. Eine Komplikationsrate von 30% (4/13 Fälle) gilt es zu reduzieren. Die unumgängliche Versteifung des Mittelgelenks in 2 von 13 beschriebenen Fällen lässt auf weiter bestehende Schwierigkeiten in der Fingermittelgelenkprothetik schließen.

Es sei weiterhin bemerkt, dass es sich bei der vorliegenden Arbeit um Zwischenergebnisse handelt. Verglichen mit den Silikonplatzhaltern nach Swanson, die gehäuft Implantatfrakturen und Materialverformungen aufweisen und somit Rotationsstabilität und laterale Stabilität vernachlässigen, konnten diese Phänomene während unserer Studie nicht festgestellt werden [15, 16, 18]. Zudem ist die Verwendung von Silikonprothesen den Rheumatikern vorbehalten, da der Anspruch an die Belastbarkeit des Gelenks bei diesen Patienten geringer ist.

### Fazit für die Praxis

Die vorgestellten, neu entwickelten Pyrocarbonprothesen, können eine Alternative zu bisher verwendeten Prothesen und bisher angewendeten chirurgischen Verfahren darstellen, Langzeitergebnisse gilt es abzuwarten. Die kurz- bis mittelfristigen Ergebnisse lassen auf positiv zu wertende Langzeitergebnisse hoffen.

### Korrespondierender Autor

Dr. N. Stütz

Klinik für Plastische,  
Wiederherstellende und Handchirurgie,  
Zentrum für Schwerbrandverletzte,  
Klinikum Nürnberg-Süd,  
Breslauerstraße 201, 90471 Nürnberg  
E-Mail: nstuetz@hotmail.com

Interessenkonflikt: Keine Angaben

### Literatur

- Boehler M, Knahr K, Plenk H Jr, Walter A, Salzer M, Schreiber V (1994) Long-term results of uncemented alumina acetabular implants. *J Bone Joint Surg Br* 76: 53–59
- Chamay A (1988) A distally based dorsal and triangular tendinous flap for direct access to the proximal interphalangeal joint. *Ann Chir Main* 7 (2): 179–183.
- Cook SD, Beckenbaugh RD, Redondo J, Popich LS, Klawitter JJ, Linscheid RL (1999) Long-term follow-up of pyrolytic carbon metacarpophalangeal implants. *J Bone Joint Surg Am* 81 (5): 635–648
- Eaton RG, Malerich MM (1980) Volar plate arthroplasty of the proximal interphalangeal joint: a review of ten years' experience. *J Hand Surg Am* 5 (3): 260–268
- Evans RB (1995) Immediate active short arc motion following extensor tendon repair. *Hand Clin* 11(3): 483–512
- Gschwend N, Raemy H, Nitter H, Ivosević-Radovanović D (1986) Long-term results of endoprosthetic joint replacement and synovectomy. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 18 (3): 135–149.
- Hintringer W, Leixnering M (1991) Osseous or ligamentous injuries of the phalango-interphalangeal joint and their treatment. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 23 (2): 59–66
- Iselin F, Conti E, Perotte R, Stephan E (1995) Résultats à long terms des résections-arthroplasties interphalangiennes proximales avec implant „silastic“ de Swanson. *Ann Chir Main* 14: 126–133
- Lang E, Schmidt A, Ishida A, Baumgärtler H (2000) Experiences with the alloplastic joint prosthesis of the interphalangeal joint. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 32 (1): 44–50
- Lin HH, Wyrick JD, Stern PD (1995) Proximal interphalangeal joint silicone replacement arthroplasty. Clinical results using an anterior approach. *J Hand Surg Am* 20: 123–132
- Linscheid RL (2000) Implant arthroplasty of the hand: retrospective and prospective considerations. *J Hand Surg Am* 25 (5): 796–816
- Little JW (1973) On the adaptability of man's hand (with reference to the equiangular curve). *Hand* 5 (3): 187–191
- Pelligrini VD, Burton RI (1990) Osteoarthritis of the proximal interphalangeal joint of the hand: arthroplasty or fusion? *J Hand Surg A* 15: 194–209
- Sauerbier M, Cooney WP, Berger RA, Linscheid RL (2000) Complete superficial replacement of the middle finger joint-long-term outcome and surgical technique. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 32 (6): 411–418
- Swanson AB, Maupin BK, Gajjar NV, de Groot-Swanson G (1985) Flexible implant arthroplasty in the proximal interphalangeal joint of the hand. *J Hand Surg A* 10: 796–805
- Tsai TM, Jupiter JB, Kutz JE, Kleinert HE (1982) Vascularized autogenous whole joint transfer in the hand. A clinical study. *J Hand Surg* 7: 335–341
- Uchiyama S, Cooney WP, Linscheid RL, Niebur G, An KN (2000) Kinematics of the proximal interphalangeal joint of the finger after surface replacement. *J Hand Surg Am* 25: 305–312